

ZÁRÓJELENTÉS

ERDEI FÁS NÖVÉNYEK VÁLASZREAKCIÓJA KÖRNYEZETI TÉNYEZŐK VÁLTOZÁSÁRA

Ujváriné Jármay Éva

1. A kutatás célja, a munkatervben vállalt feladatok teljesítése

Az utóbbi évtizedekben a globális időjárás-változás előrejelzésének, a felmelegedés feltételezésének hatására előtérbe került és felgyorsult az élőlények alkalmazkodó képességének, különösképpen az alkalmazkodó képesség határainak tanulmányozása.

Az ökológiailag fontos környezeti tényezők esetleges megváltozása veszélyeztetheti a hosszú élettartamú, állományalkotó fafajainkat is. Az erdészeti kutatások során Mátyás (1987, 1994) elsők között foglalkozott a fajok adaptív változatosságának vizsgálatával. Bemutatta, hogy a korábban létesített származási kísérletek növekedési adatainak felhasználásával az időjárás-változás hatása modellezhető.

Szerencsés módon a IUFRO (Erdészeti Kutatási Intézmények Nemzetközi Szervezete) által szervezett kutatásokba hazánk is bekapcsolódott, ennek eredményeként az 1968-ban létesített, 1 100 földrajzi származást tartalmazó nemzetközi lucfenyő származási kísérlethálózat (IUFRO 1964/68) egy kísérlete Magyarországra került. Kutatásaink során a lucfenyő válaszreakcióját e kísérletsorozat jellemzői alapján értékeltük.

A kutatás célja: különböző ökológiai körülmények között növekvő lucfenyő származások, „származás-hibridek” teljesítményének meghatározása. A populációk válaszreakciójának elemzése többtényezős számítógépes modell segítségével.

Vállalt feladatok teljesítése

A munkatervben vállalt feladatokat teljesítettük, a munkatervtől nem tértünk el. Személyi változás nem történt. A tervezett külföldi konferencián való részvétel, mely a nemzetközi együttműködés folytatását célozta volna, a pénzelvonás miatt meghiúsult.

Teljesített feladatok részletezése:

1. Elvégeztük a tervezett terepi adatfelvételeket (növekedés, egészségi állapot), valamint az elsődleges adatfeldolgozást. A korábban felvett adatokkal együtt számítógépes adatbázist (1. Adatbázis) létesítettünk a hazai lucfenyő kísérletek alapadataiból.
2. Archiválás céljából összeállítottuk a magyarországi IUFRO 1964/68 Leltározó Lucfenyő Származási Kísérlet teljes dokumentációját a kezdetektől napjainkig (növényterképek, növekedési adatok, megmaradás stb.). Az ERTI Nemesítési Osztálya tervbe vette, hogy az összeállítást külön kiadványként megjelenteti.
3. Az EUFORGEN keretében a Miskolc 50 F erdőrészletben 14-ha-s lucfenyő génrezervátumot jelöltünk ki. A génrezervátum része az európai hálózatnak.
4. A Nemzetközi Adatbázisból, valamint kiadványokból (Persson – Persson 1992; Balut – Sabor 2002) további 4 IUFRO 1964/68 lucfenyő kísérlet (1 lengyelországi, 3 svédországi) növekedési adatait szereztük be. Az adatokat a válaszreakció elemzéséhez előkészítettük, kialakítottuk a 2. Adatbázist.
5. Az adaptáció vizsgálatához a földrajzi koordináták alapján 400 származás klímaadatait (havi és évi átlaghőmérséklet, havi és évi csapadékösszeg) szereztük be és létrehoztuk a 3. (meteorológiai) Adatbázist. (Forrás: Eurázsia 51–80 klímaterképek, szerkesztette: Mórincz Norbert és Rasztovits Ervin, NyME).
6. Tanulmányt készítettünk az Acta Silvatica et Lignaria Hungarica számára a következő címmel: „Adaptability of Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.). Response of

Second Generation of Provenance Test (IUFRO 1964/68) to Environmental Change.” A tanulmányt közlésre elfogadták.

7. A „származás-hibridek” adaptációjáról tanulmányt készítettünk az Erdészeti Kutatások számára a következő címmel: „A lucfenyő (*Picea abies* /L./ Karst.) alkalmazkodó képessége. Származások utódnemzedékeinek válaszreakciója környezeti tényezők változására”. A tanulmányt közlésre elfogadták. A tanulmányban az előző, 2001-ben befejeződött OTKA pályázat eredményeit ismertetjük, azaz a származások, anyafák, és szabadbeporzású utódaik közötti korrelációt mutattuk be, kiegészítve a legújabb kutatási eredményekkel.
8. Jelen Zárójelentésben az eredeti származási helyüktől eltérő ökológiai körülmények közé került lucfenyő származások válaszreakcióját elemezzük. Az itt vázolt koncepció, valamint a bemutatásra kerülő kutatómunka korábbi, OTKA által támogatott kutatások folytatása (OTKA 990. sz. Témavezető: Mátyás Cs.(1996a) ; OTKA T 025 752. sz. Témavezető: Ujváriné Jármay É. (2001))

2. Vizsgálati anyag; a tárgykörben kidolgozott elméletek, módszerek, eljárások

A teljes **Leltározó Lucfenyő Származási Kísérlet (IUFRO 1964/68)** 13 ország területén létesült és összesen 20 kísérletből áll. Az 1 100 földrajzi származást 96 régióból (Kruttsch, 1974) gyűjtötték. A kísérleti elrendezés a IUFRO előírásai szerint történt. Az 1100 származásból 11 blokk kialakítására került sor, blokkonként 100 - 100 származással, származásonként 25-szörös ismétléssel. A blokkok területe 1 ha, az elrendezés „egyfa-parcellás” (Szőnyi - Ujvári, 1970, 1975). Blokkon belül a termőhely többé-kevésbé homogén. A származások véletlen kiosztása miatt a blokkok egyenként is 1 - 1 kísérletnek tekinthetők, külön-külön is értékelhetők (Kruttsch 1992).

A vizsgálatba vont 5 kísérlet fontosabb földrajzi és klímaadatait az 1. táblázat tartalmazza. A több származás megsemmisülését eredményező mortalitás miatt a 7. sz kísérletet (Lisjö) az értékelésből kizártuk. Mivel elsősorban a klimatikus tényezők változásának hatását vizsgáltuk, az edafikus problémákat mutató 19. sz. kísérletet (Krynica) szintén kihagytuk az értékelésből. A válaszreakció elemzéséhez végezetül 2 svédországi kísérlet (Lappkojberget és Abild) 7, 8, 9, és 11. blokkját (400 – 400 származását), valamint a magyar kísérlet (Nyírjes) 7-9. blokkját (300 származását) használtuk fel (1. ábra).

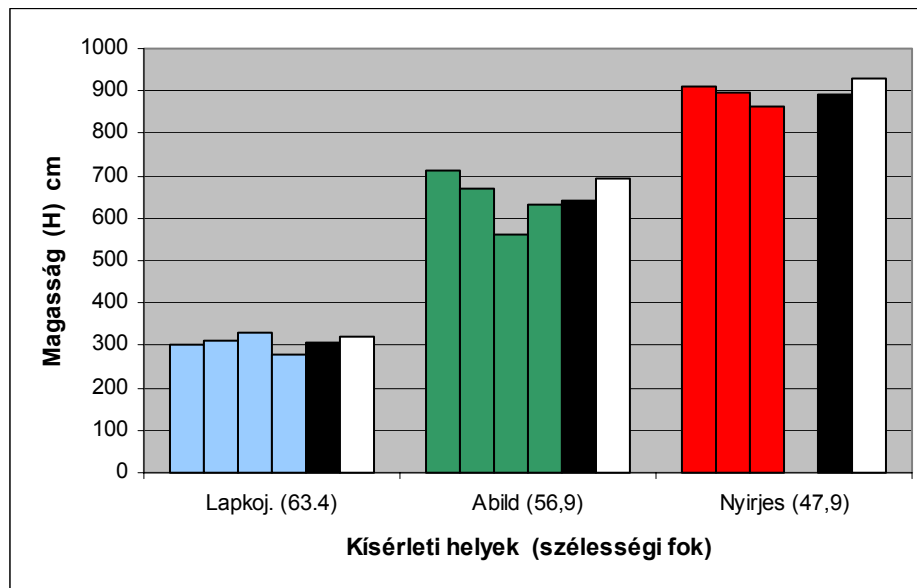
1.táblázat. IUFRO lucfenyő származási kísérletek fontosabb adatai

Kísérlet IUFRO Szám	Helye	Szélesség Fok	Hosszúság fok	Tszf. mag. m	Ország	Éves középhő. C°	Éves csapadék Mm
8	Lappkojberget	63,42	18,62	220	SWE	2,3	456
7	Lisjö	59,72	16,08	65	SWE	6,4	520
6	Abild	56,95	12,73	65	SWE	5,9	654
19	Krynica	49,47	21,02	730	POL	6,1	867
20	Nyírjes	47,93	19,92	600	HUN	7,5	782

A statisztikai számítások során függő változóként az adjusztált (kísérletenként homogenizált) 16 éves kori magassági értékeket (H cm), valamint a relatív magasságokat alkalmaztuk. A relatív magasságokat kísérletenként, a helyi populációhoz viszonyítva, százalékos értékben adtuk meg (H %).

A válaszreakció elemzéséhez meghatároztuk a fontosabb **klímaparamétereket**. A klímaatlaszból nyert hőmérséklet és csapadékadatokból további paramétereket számítottunk

(évszakos adatok, hőösszegek stb.). Figyelembe vettük az „ökológiai távolság”-ot. Az ökológiai távolság paramétere az áttelepítés következtében előállt környezetváltozás mértékének egy mérőszámában való kifejezésére alkalmas (Mátyás 1987, 1996).



1. ábra. Vizsgált blokkok (7; 8; 9 és 11.) átlagmagassága a 3 kísérleti helyen. (a blokkok átlagát fekete, a helyi populáció magasságát fehér színnel jelöltük)

A klimatikus eltéréseket a következő példa szerint számítottuk és D-vel jelöltük:

D hőmérséklet = kísérleti hely hőmérséklete – származási hely hőmérséklete

Minden egyes származásra és minden kísérleti helyre meghatároztuk a klímamutatókat, a regresszió analízisre előkészített adatbázis így több százezer adatot tartalmaz. A klímamutatók kiszámításában, valamint az alkalmazott Statisztika program bemutatásában Nagy László tudományos munkatárs (ERTI Nemesítési Osztály, Sárvár) volt segítségünkre.

Az értékelések során új módszert jelentett a **10 zónacsoport** kialakítása, a zónacsoportok reakciónormáinak meghatározása. A zónacsoportok földrajzilag elkülöníthetők, adaptáció szempontjából hasonló – 10-130 származásból álló - egységek, melyek – klimatikus változásokra adott - válaszreakciói matematikai függvények segítségével kifejezhetők.

A zónacsoportok kialakításakor a következőket vettük figyelembe:

1. A IUFRO kísérlet 1 100 származásának besorolása 96 földrajzi régióba (Kruttsch 1974);
2. Skandináv országok számára kialakított 20 magbeszerzési zóna (Dietrichson 1979; Fottland – Skroppa 1989).
3. Posztglaciális fajvándorlás (Schmidt-Vogt 1977);
4. Genetikai - elsősorban a mitokondriális DNS - vizsgálatok eredményei (Sperisen 1998, Mátyás 2002);
5. Hazai fenológiai vizsgálatok eredményei, továbbá a terepi adatfelvételek során szerzett tapasztalatok (Ujvári É- Ujvári F. 1979, 1980, 1992/93).

A kialakított **zónacsoportok** a következők:

1. Észak-Nyugat Európa;
2. Jura, Feketeerdő, Alpok, Alpokalja;
3. Cseh erdő, Harz hegység és környéke;
4. Szudéták, Beszkidek, Tátra;
5. Dél-Lengyelország, Keleti-Kárpátok, Bihar hg, Északi Középhegység;
6. Délkelet Európa (Balkán félsziget);
7. Északkelet Lengyelország, Balti államok, Fehér-Oroszország, Ny-Oroszország ;
8. Finnország, Észak-Svédország, Közép-Norvégia;
9. Délkelet Norvégia, Közép-Svédország, Dél-Svédország, Dánia;
10. Moszkvai Hátság.

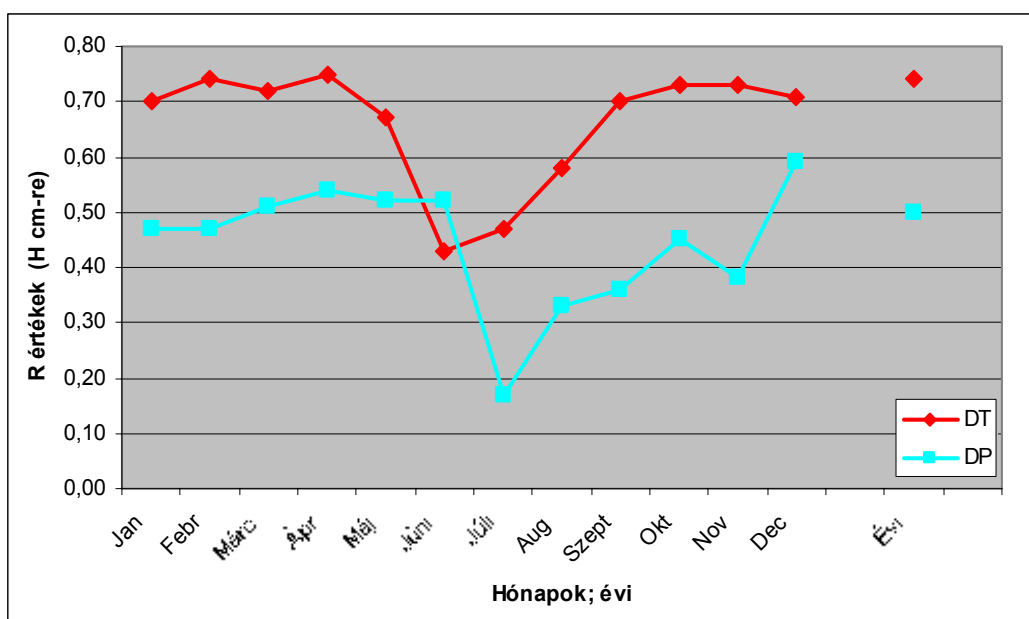
A zónacsoportba sorolásra jellemző példa: az Északi Középhegység származásai magbeszerzés szempontjából a norvégok számára érdektelen voltak, így a zónába-sorolásból kihagyták (Persson 1992). Megfigyeléseink szerint e származások alkalmazkodó képessége kiváló, legkésőbbben fakadnak, így egyértelműen a Keleti-Kárpátok zónacsoportba kerültek.

3. Eredmények

A három kísérleti helyszín (Nyírjes, Abild, Lappkojberget) magassági adatainak varianciaanalízise szerint a statisztikai varianciakomponensek a következő képen alakultak:

Kísérlet	95,6 %
Származás	1,8 „
Kölcsönhatás	2,5 „
Hiba	0,1 „

A kísérleti terület – mivel a IUFRO kísérlet legészakibb (lappföldi) és legdélebbi területeiről van szó – 95,6 %-ban határozza meg a magassági növekedést. Kevésbé szélsőséges termőhelyeken, pl. magyarországi és németországi kísérletek elemzésekor ugyanezen értékek 38%; 9%; 1%; és 52 %-nak adódtak (Liesebach - König – Ujváriné 2001).



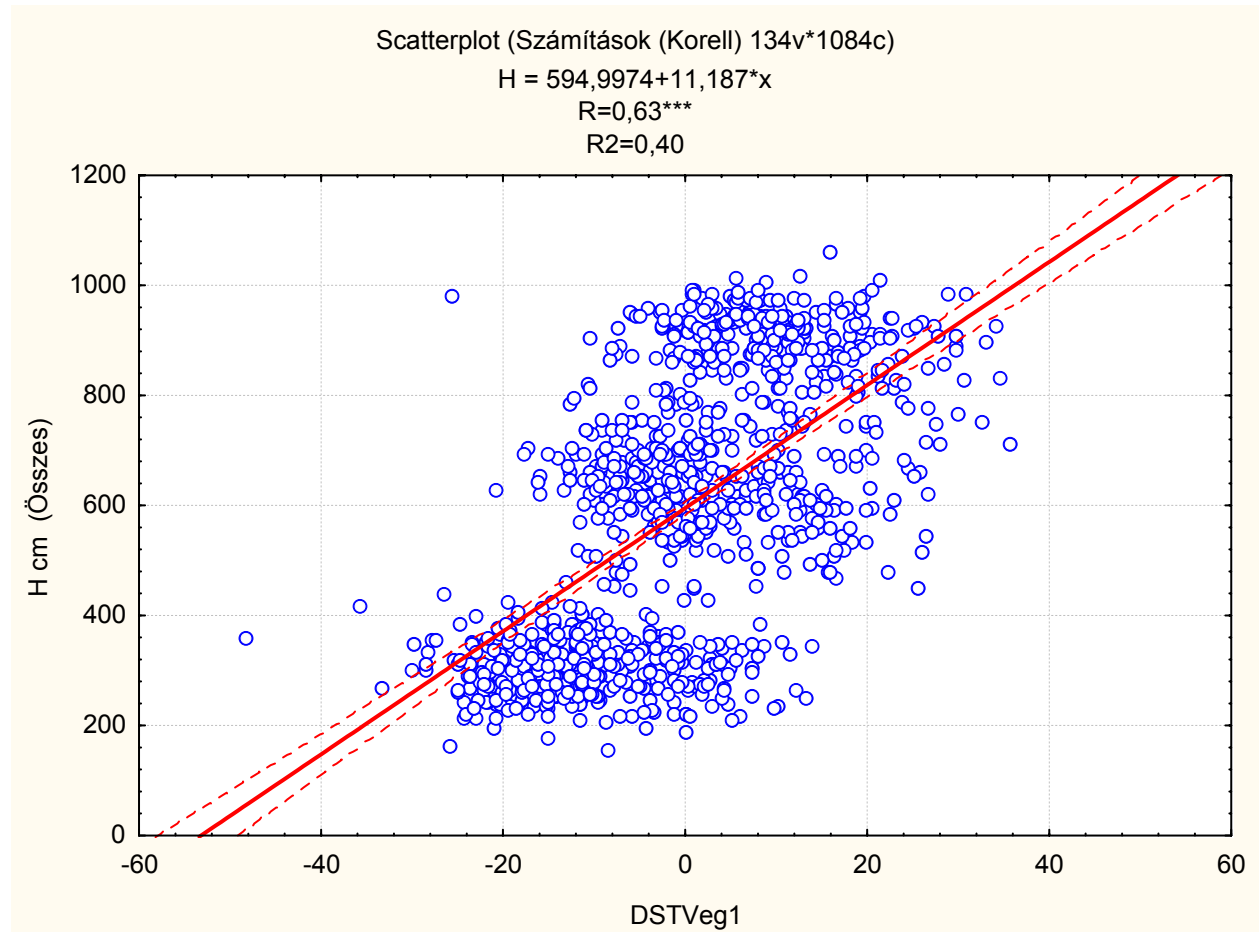
2. ábra. Havi átlaghőmérséklet- és csapadékösszeg-különbségek korrelációja a származások adjusztált átlagmagasságával

Klímaparaméterek bevezetésével, többváltozós, többszörös regresszióanalízis alkalmazásával az adjusztált érték $R^2=0,777$ volt, ami annyit jelent, hogy a klíma 77,7 %-ban határozza meg a 16 éves kori magassági növekedést. Az összefüggés erősen szignifikáns.

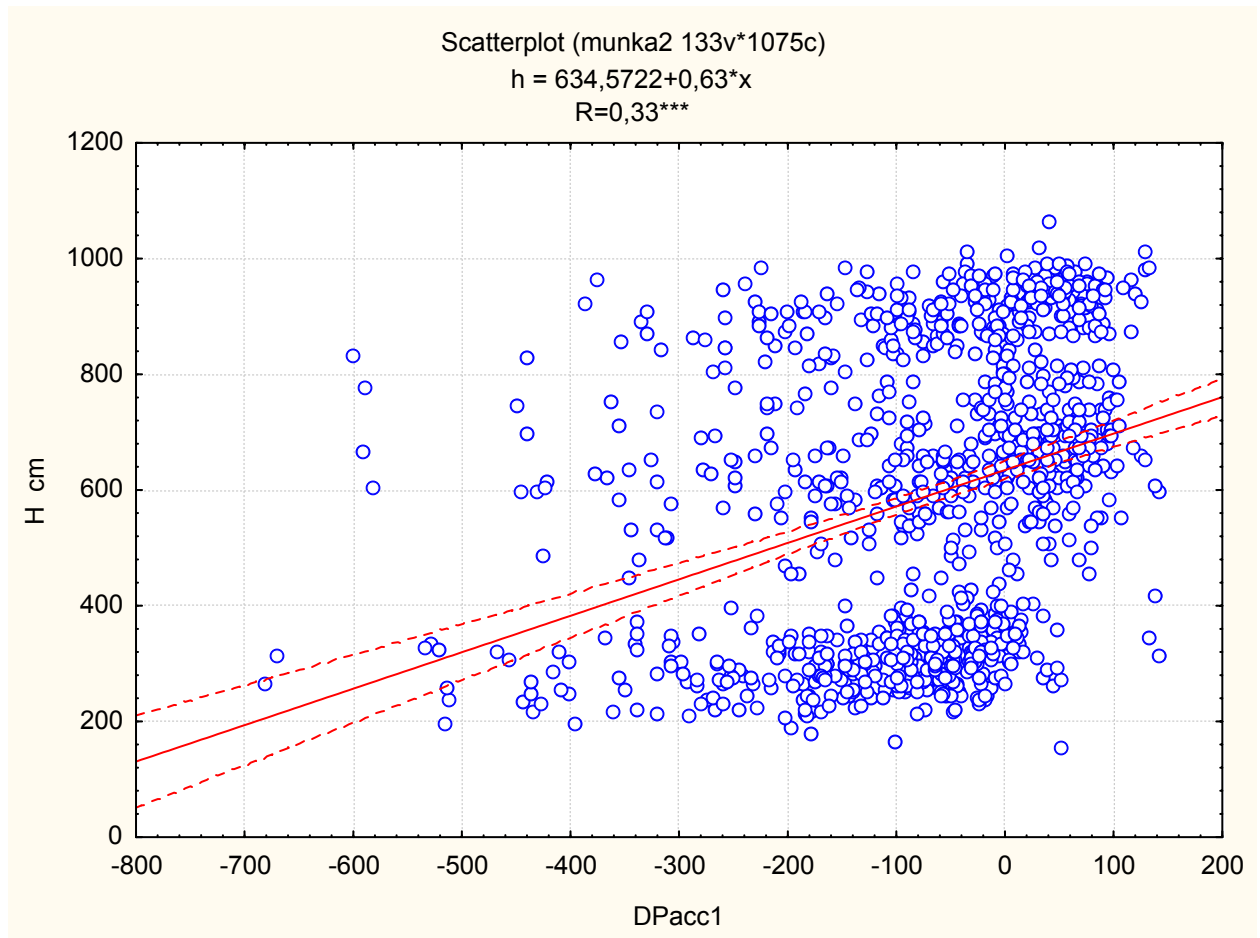
A 2. ábra a korrelációs koefficiensek alakulásáról ad tájékoztatást. Megállapítható, hogy ebben az életkorban a magassági növekedést elsősorban a hőmérséklet határozza meg. Az összefüggések szignifikánsak. A júniusi alacsony R értéket a kísérleti területek közel azonos ($15 - 16^\circ \text{C}$ körüli) átlaghőmérséklete magyarázza.

A havi csapadékösszeg-különbségekre vonatkozó R értékek szintén szignifikánsak. Feltűnő, hogy elsősorban a téli hónapok csapadéka, azaz a vegetációs időszak kezdetére felhalmozott csapadékmennyiség a meghatározó. Ez korábbi megfigyeléseinket igazolja és megegyezik a szakirodalommal (Schmidt-Vogt 1977).

A következőkben két fontos klímaparaméterrel, a vegetációs időszak hőösszeg-különbségével (DSTveg1), valamint a vegetációs időszakon kívüli csapadékösszeg-különbségekkel (DPacc1) foglalkozunk. Mivel a kísérleti területek klímája igen eltérő, vegetációs időszaknak – megegyezés szerint - minden egyes területen azokat a hónapokat tekintjük, melyekben az átlaghőmérséklet meghaladta az 5°C -t.



3. ábra A hőösszeg-különbségek hatása a származások átlagmagasságára



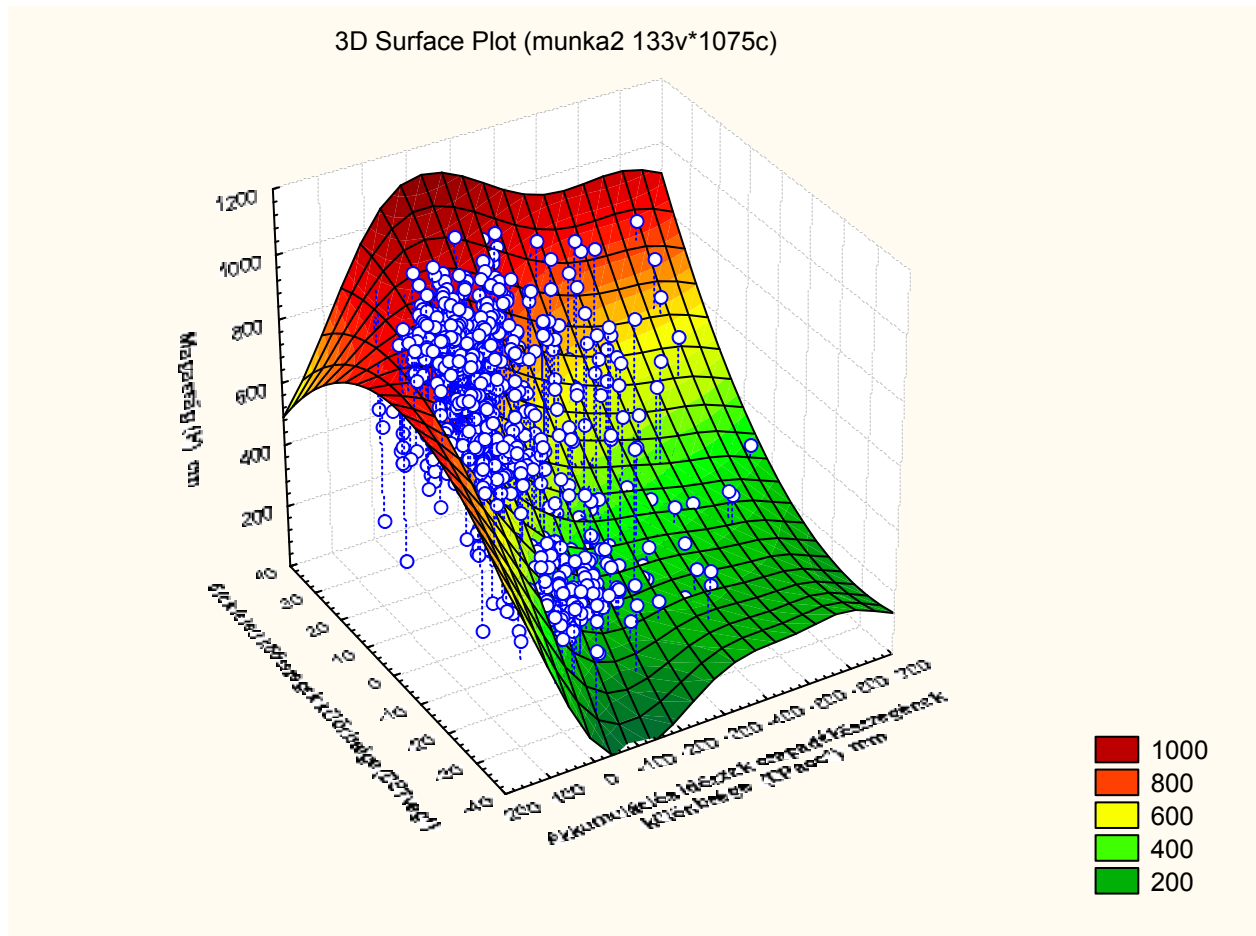
4. ábra. Az akkumulációs időszak csapadékösszeg-különbségének hatása a származások átlagmagasságára.

A 3. és 4. ábrán a vizsgálatba vont 400 származás 3 helyszínen mért átlagmagasságának változatossága látható. Mindkét ábrán a magassági adatok szerint jól elkülöníthető a három kísérlet. Az összefüggések szorosak, mindkét esetben kimutatható a szignifikáns korreláció.

A 3. ábra igazolja korábbi megállapításunkat. A három kísérlet együttes értékelése során a hőösszeg-különbség növekedésével - vagyis abban az esetben, ha egy származás az eredeti termőhelyénél melegebb helyre kerül - nő az átlagmagasság. Meg kell említenünk, hogy itt nagyléptékű, igen jelentős hőmérsékletkülönbségekről van szó, a lappföldi és a magyar kísérlet évi középhőmérséklete 2,3 illetve 7,5° C. Mindkét terület az optimális lucfenyő termőhelyen kívül fekszik (Nebe 1968).

A 4. ábrán szintén a nyírjesi kísérlet adja a legjobb eredményt, és a trendvonal azt is megmutatja, hogy tárolt csapadék növekedése kedvezően befolyásolja az átlagmagasságok alakulását. Az összefüggés - a korábban elmondottaknak megfelelően - lazább.

A hőösszeg- és csapadékadatok együttes vizsgálata (5. ábra) szintén a hőmérséklet meghatározó szerepét mutatja.

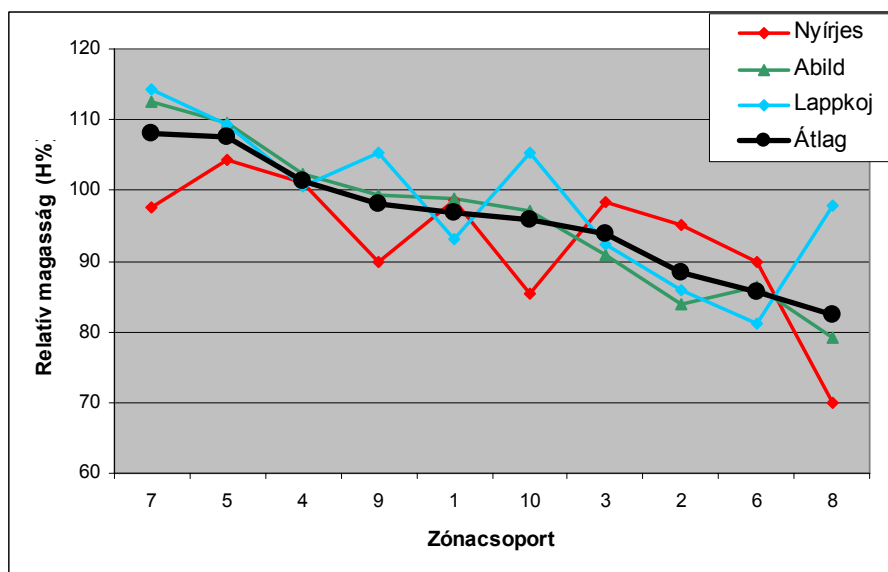


5. ábra. Válaszregresszió-felület a lucfenyőre. Hőösszeg-változások és a csapadékösszeg-változások együttes hatása a magassági növekedésre

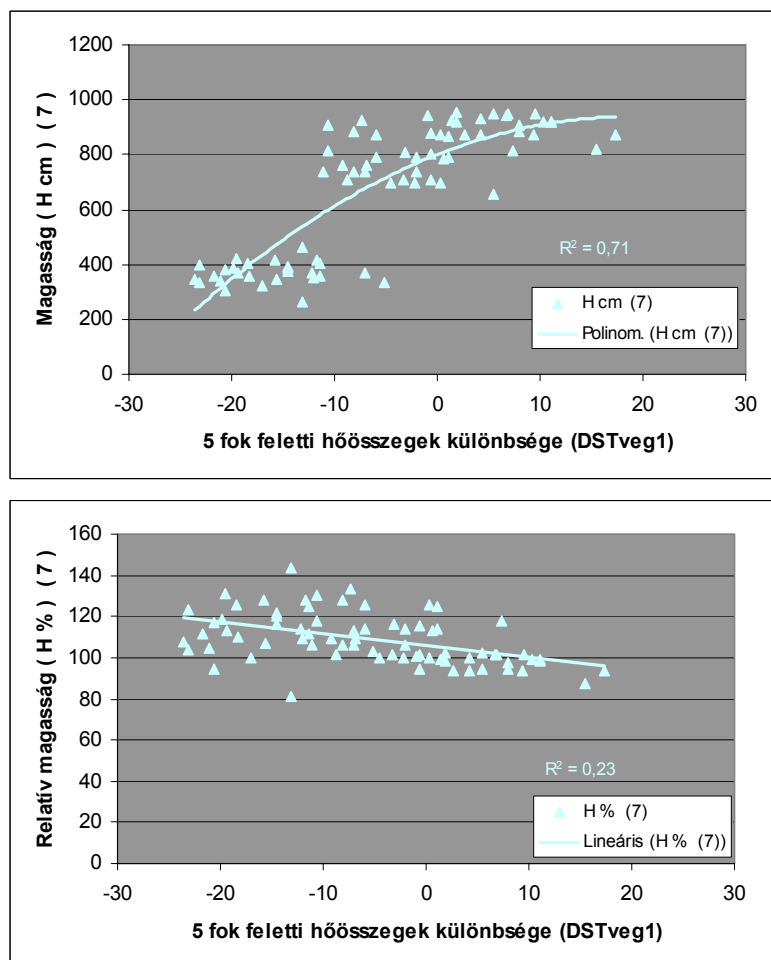
Megállapításunkat, miszerint a lucfenyő fiatalkori magassági növekedését elsősorban a hőmérséklet befolyásolja, a szakirodalom is igazolja (Shmidt-Vogt 1977). Éppen ezért a következőkben elsősorban a hőösszeg-változásra adott válaszreakciót vizsgáltuk.

Az adaptáció vizsgálata során korábbi kutatási eredményeink már bizonyították a magassági növekedés – földrajzi szélesség szerinti – klinális jellegét (Ujváriné – Ujvári 1992/93). Bemutattuk, hogy a változás válaszregresszió-felület segítségével modellezhető.

A legújabb vizsgálatok további finomításokat tettek lehetővé. A relatív magasságok alapján elemeztük a különböző zónacsoportok adaptációját a három kísérleti helyen (6. ábra). Az átlag szerinti csökkenő sorrend azt mutatta, hogy a 7. (Balti), az 5. (K-Kárpátok) és a 4. (Beszkidek) zónacsoport átlaga meghaladja a 100 %-ot, azaz felülmúlja a helyi populációkat, ugyanakkor a 2. (Alpok), 6. (Balkán) és 8. (Északi) igen rosszul alkalmazkodtak a megváltozott ökológiai viszonyokhoz. Kísérletenként vizsgálva szembevetendő, hogy a D-svédországi Abild kísérletben a relatív magasságok többé-kevésbé az átlagértéknek megfelelően alakultak. Az igen eltérő klimatikus viszonyok között lévő nyírjesi és lappföldi kísérletekben ugyanakkor más-más zónacsoportok alkalmazkodása volt kedvezőbb.



6. ábra. Zónacsoportok relatív magassága a IUFRO kísérleti helyeken.



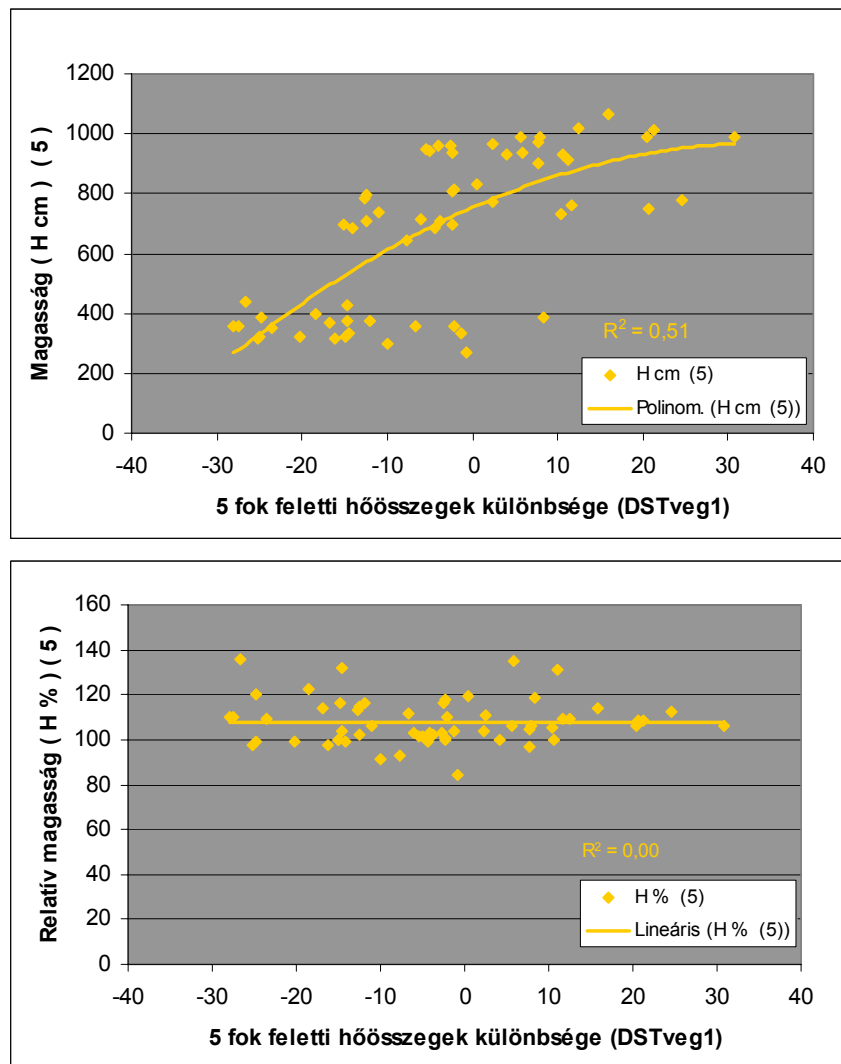
7. ábra. 7. zónacsoport (Balti) válaszreakciója a hõsszeg-változásra

A következőkben megvizsgáltuk, hogy egy-egy zónacsoport származásai miként viselkedtek az áthelyezéskor, azaz a kísérletek létesítésekor bekövetkezett hőösszeg-változások hatására. Három zónacsoportot mutatunk be (7 – 9 ábra), az adott zónacsoportot mindhárom kísérleti területen együttesen vizsgáltuk

A 7. ábrán látható, hogy a „Balti,” csoport északon, mindkét svédországi kísérletben jelentősen felülmúlta a helyi populációkat, a relatív magasságok egy része a 120 %-ot is meghaladta. A nyírjesi kísérletben viszont lemaradt, átlagosan 98 %-ot ért el. Az abszolút magasságok azt mutatták, hogy D felé haladva az értékek növekednek, de bizonyos hőösszeget meghaladva a trendvonal ellaposodik. Az értékek egy másodfokú polinom mentén helyezkednek el, a polinom a következő függvénnyel írható le:

$$y = -0,3942x^2 + 14,77x + 800,10$$

Az összefüggés igen szoros, $R^2 = 0,71$, vagyis az abszolút magasságok változatossága 71 %-ban a hőösszeg-változással magyarázható.



8. ábra. 5. Zónacsoport (K-Kárpátok) válaszreakciója a hőösszeg-változásokra

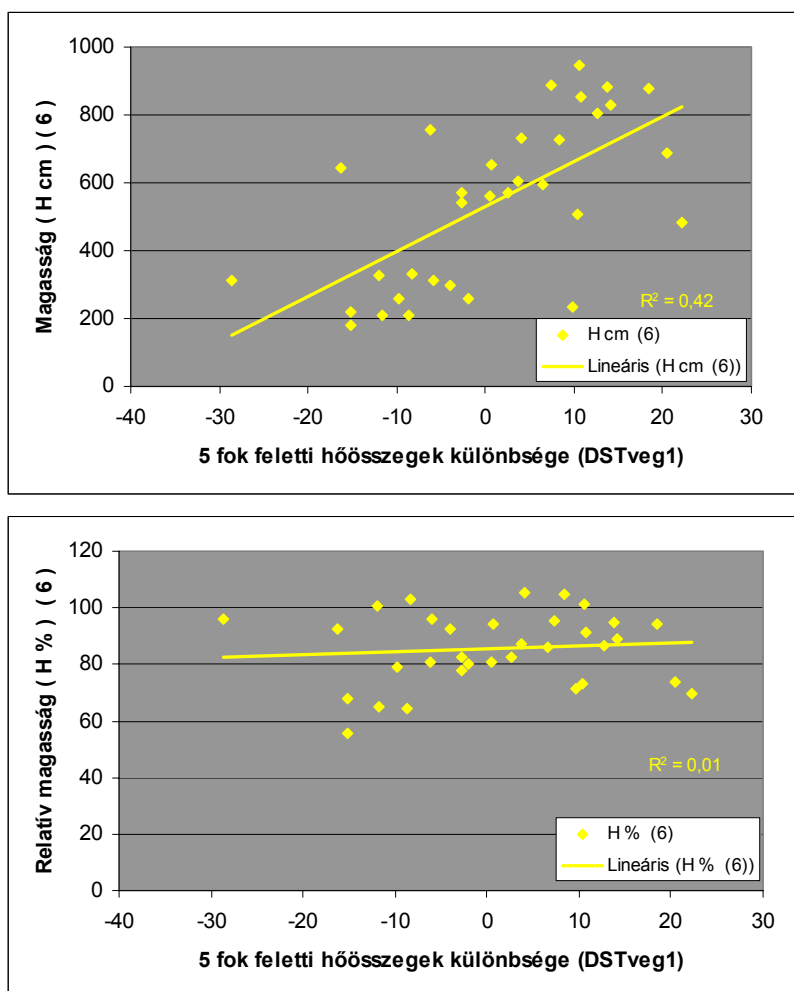
A 8. ábrán a származási kísérlet legplasztikusabb, legjobban alkalmazkodó zónacsoportja, az. 5. (Keleti –Kárpátok) látható. A relatív magasságok mindhárom kísérletben felülmúlták a helyi populációkat, teljesítményük egyenletes, 100 % feletti. Ebbe tartoznak az Északi Középhegység populációi - így a nyírjesi. „helyi” származás (Bükkszentkereszt) is - tehát magasra állítottuk a viszonyítási mércét.

A válaszreakció a következő polinommal írható le:

$$y = -0,1793x^2 + 12,41x + 754,62$$

Az $R^2 = 0,51$ ez esetben is igen szoros összefüggést igazol.

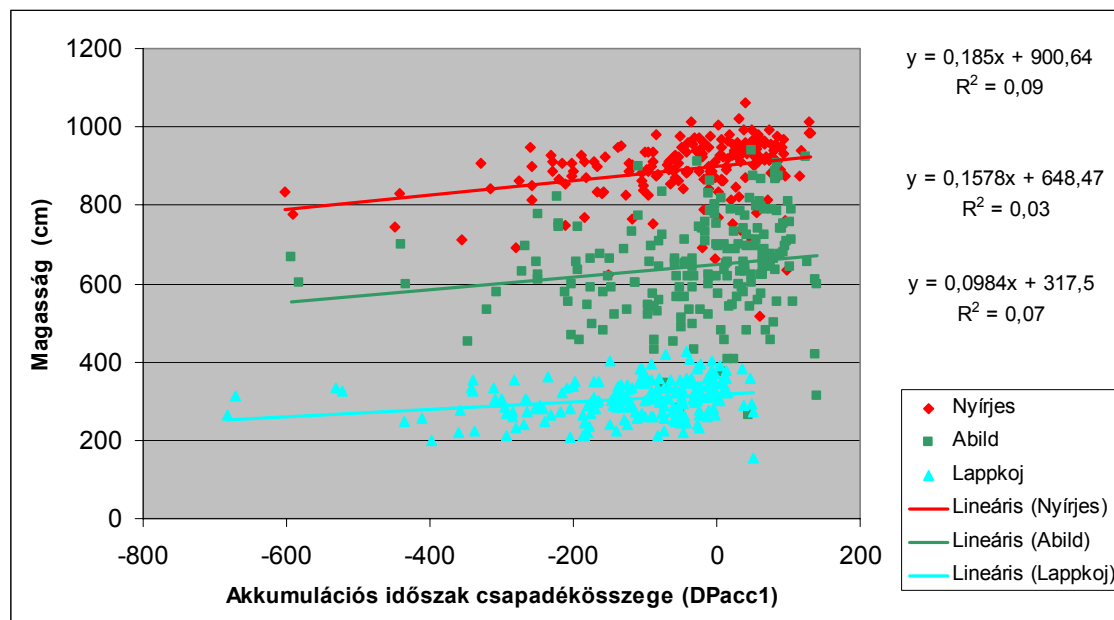
A legdélebbi zónacsoportot a Balkán félsziget – többségében magashegységi – populációi alkotják (9. ábra). A posztglaciális fajvándorlás figyelembevételével - Skroppa (1989) zónabeosztásával ellentétben - a Déli Kárpátok populációit nem az 5. zónacsoportba, hanem ide soroltuk. A hőösszeg növekedésére – az abszolút magassági függvény szerint - többletnövekedéssel reagáltak, a relatív magassági értékek szerint azonban ezen származások túlnyomó többsége egyik termőhelyen sem érte el a helyi populációk átlagmagasságát.



9. ábra. 6. Zónacsoport (Balkán) válaszreakciója a hőösszeg-változásokra

A zónacsoportokat tovább elemeztük. A 4. (Beszkidek) csoport egyenletes, 100 % körüli relatív magasságot mutatott mindhárom kísérleti helyszínen. A 9. 10. és főként a 8. (Északi) csoport viszont rosszul reagált a hőösszeg növekedésére, ez utóbbi a Nyírjesen a helyi populáció mindössze 70 %-át érte el.

A következőkben kísérleti területenként is megvizsgáltuk és értékeltük a két fontosabb klímaparaméter, valamint a magassági növekedés összefüggését.



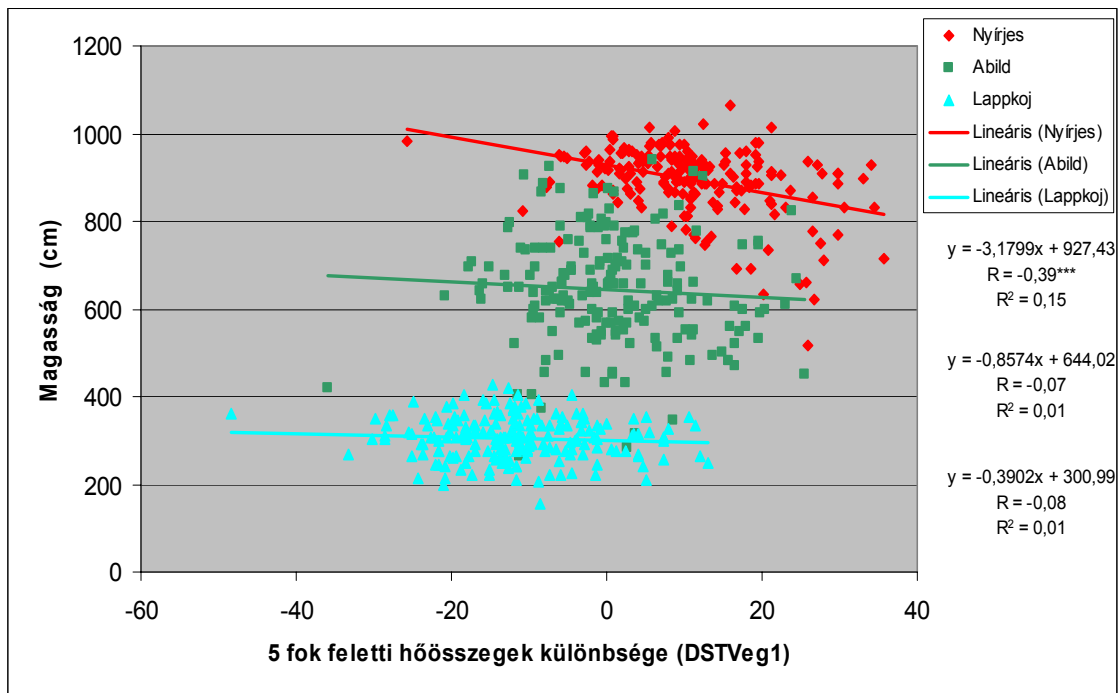
10. ábra. Az akkumulációs időszak csapadékösszegének változása, valamint a magassági növekedés összefüggése a három kísérleti területen

A 10. ábrán látható, hogy a téli csapadék, valamint a magassági növekedés között – a kísérletenként végzett értékelés szerint is – kimutatható a korreláció, mely Nyírjes és Lappkojberget esetében szignifikáns. Az abildi kísérleti területen – feltehetően a tenger közelsége miatt – a felhalmozott csapadék kisebb szerepet játszik.

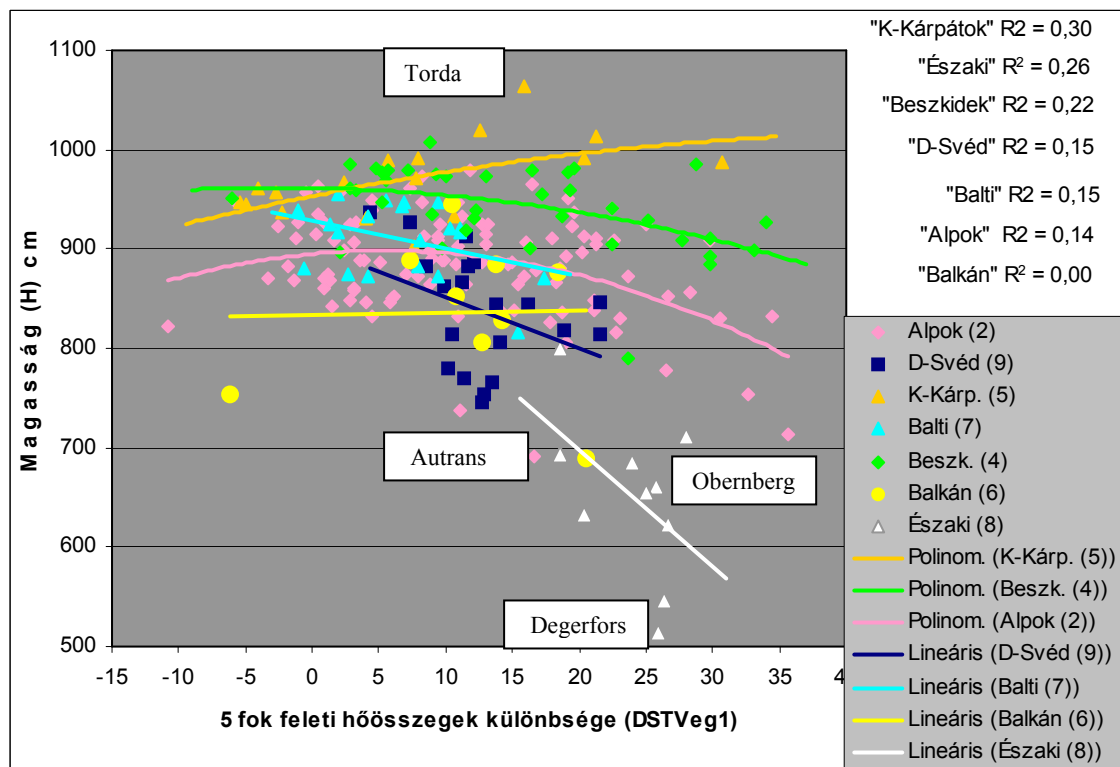
A ábra bal oldalán, a negatív értékek azt jelentik, hogy az ott található populációk csapadékosabb klímából érkeztek. A trendvonal egyértelműen megmutatja, hogy a jelentősen csapadékosabb klímából érkezett származások kevésbé alkalmazkodtak a kísérleti területek adottságaihoz, magassági növekedésük lemaradó. Itt elsősorban az Alpok populációit találjuk, eredeti származási helyükön az éves csapadék meghaladta az 1600 mm-t.

A 11. ábrán a hőösszeg-különbségek függvényében ábrázoltuk a magassági növekedést, a három kísérleti területen. Látható, hogy a kísérleti anyag északról dél felé, a nagyobb hőösszeg irányába mozgatva nagyobb abszolút magasságot mutat, azonban a kísérleti területeken a trendvonal iránya megváltozik. Elsősorban a nyírjesi területen szembetűnő a szignifikáns, negatív korreláció ($R = -0,39^{***}$).

A 12. ábrán a nyírjesi kísérleti területet önmagában ábrázoltuk, feltüntettük a fontosabb zónacsoportokat, valamint a trendvonalakat. Mivel a hőösszeg-különbségeket oly módon határoztuk meg, hogy a kísérleti hely hőösszegéből kivontuk a származási hely hőösszegét, a hidegebb klímából érkező származások a pozitív oldalon, a melegebb klímából érkezők a negatív oldalon találhatók. A zónacsoportok válaszreakciója különböző, azt azonban megállapíthatjuk, hogy a hőösszeg-különbség növekedésével csökken a magasság.



11. ábra. A hőösszeg-különbségek, valamint a magassági növekedés korrelációja a három kísérleti területen



12. ábra. IUFRO lucfenyő magassági növekedése zónacsoportonként a hőösszeg változásának függvényében. Nyírjes, 1983. (16.év).

A 12. ábrán a lineáris trendvonalak meredeksége jól illusztrálja, hogy a Skandináviából, valamint a Baltikumból érkezett származások (7, 8, 9. zónacsoport) magasságának csökkenése igen határozott. Az ábráról az is leolvasható, hogy mintegy 10° C hőösszeg-különbség esetén nemcsak az Alpok és környéke (2.), hanem a Szudéták, Beszkidek és Tatra zónacsoport (4.) származásai is gyengébben szerepelnek. Mindez igazolja a 11. ábra szerinti negatív korrelációt.

Példaként bemutatjuk a 4. sz. zónacsoport függvényét:

$$Y = - 0,049x^2 - 0,254x + 961,53$$

Ez annyit jelent, hogy változatlan hőösszeg-különbség esetén a magasság 961,53 cm. Amennyiben a hőösszeg-különbség 10° C-szal növekszik, a magasság 954 cm lesz, 30° C esetén már csak 910 cm. Látható, hogy az igen jó adaptációs képességgel rendelkező Beszkidek, Szudéták zónacsoport is érzékeny a felmelegedésre.

A válaszreakció alapján értelmezhető és számszerűsíthető az a – tapasztalatok alapján - jól ismert megállapítás, hogy a gyertyános-tölgyes és bükkös klíma határán lévő nyírjesi kísérlet a lucfenyő számára határtermőhelyet jelent. Kismértékű felmelegedés is a legtöbb csoportban a magassági növekedés csökkenését eredményezheti.

Külön ki kell emelnünk az 5. sz. zónacsoportot (Dél-Lengyelország, Keleti Kárpátok, Bihar hegység, Északi Középhegység). Ezek a rendkívül plasztikus származások egyenletes, jó teljesítményt mutatnak a hazai kísérletben, közülük kerülnek ki a legjobb populációk (Torda). Úgy tűnik, a hőösszeg növekedésére kevésbé érzékenyek. A trendvonal alapján feltételezhetjük, hogy ezt a csoportot viselné meg legkevésbé egy esetlegesen bekövetkező globális felmelegedés.

A 2. táblázat a vizsgálatba vont négy blokk (400 származás) néhány szélsőséges termőhelyen lévő, illetve néhány különleges származását tartalmazza.

2. táblázat A vizsgálatba vont négy blokk különleges származásai

Szárm szám	Hely	Széless. fok	Hossz. fok	Tszf. m. m	Zóna- cs.	H83 Cm	Megjegyzés
935	Torda	46,58	23,78	1110	5	1063,7	Legjobb növekedésű származás (Bihar hg.)
898	Degerfors	64,20	19,70	175	8	514,7	Legészakibb, legroszszabb növekedésű szárm.
904	Mpoukowaki	41,47	24,28	1490	6	888,9	Legdélebbi származás (Ny-Rodope)
995	Autrans	45,18	5,55	1250	2	690,9	Legnyugatibb származás (Alpok)
998	Obernberg	47,03	11,42	1650	2	713,4	Legnagyobb tszf. magasságú származás
796	Bükkszentkereszt	48,07	20,63	615	5	931,4	Helyi származás (É-Középhegység)

Az elmondottakból következik, hogy klímaváltozás esetén a scenáriók ismeretében a lucfenyő magassági növekedésére vonatkozó válaszreakció modellezhető. Az elemzéseket – további klímaparaméterek és további növekedési adatok bevonásával - szeretnénk folytatni. Hangsúlyoznunk kell, hogy az itt bemutatott eredmények a lucfenyő fiatal kori (16. év) magassági növekedésére vonatkoznak. Az életkor változásával a klimatikus tényezők iránti igény is változik. A korona növekedésével nő a transzspiráció, a hőösszeg iránti igény mellett

a csapadékgény fokozottan növekszik (Nebe 1968, Schmidt-Vogt 1977). A sekély gyökérzet miatt a lucfenyő egyre érzékenyebben reagál a talaj esetleges kiszáradására, a nyári aszályos periódusokra, tehát a vegetációs időszak alatt lehullott csapadék is meghatározó lesz.

Az **eredményeket összesítve** a következőket állapítottuk meg:

1. A lucfenyő – széleskörű elterjedésénél fogva – kiváló tesztfa faj és alkalmas az adaptáció vizsgálatára;
2. A lucfenyő magassági növekedését fiatal korban 77,7 %-ban a klíma határozza meg.;
3. A kísérleti hely, valamint a származás helyének hőmérséklet-különbsége döntően befolyásolja a fiatal kori növekedést. A hőösszeg növekedése egy bizonyos határig kedvező hatású;
4. A csapadék szerepe 16 éves korban még kevésbé hangsúlyos. A növekedést elsősorban a vegetációs időszakot megelőzően, az akkumulációs időszakban leesett csapadék határozza meg;
5. Adaptáció szempontjából a lucfenyő nem tekinthető egységes fajnak. A kialakított zónacsoportok eltérően reagálnak a klímaparaméterek változására. Legplasztikusabb a Keleti Kárpátok, Bihar hegység, Dél-Lengyelország, Északi Középhegység származásai által alkotott zónacsoport;
6. A zónacsoportok klimatikus toleranciahatárai megállapíthatók. Válaszregresszió segítségével számszerűen is bizonyítható, hogy a gyertyános-tölgyes és bükkös klíma találkozása (pl. nyírjesi kísérleti terület) határtermőhelyet jelent a legtöbb lucfenyő zónacsoport számára.
7. A származási kísérletek növekedési adatai, továbbá a klímaparaméterek segítségével a scenáriók ismeretében a klímaváltozás hatása zónacsoportonként modellezhető. Néhány zónacsoport számára már a kismértékű felmelegedés is a magassági növekedés csökkenését eredményezi.

Köszönetnyilvánítás: Köszönetet mondunk az OTKA-nak a feladat elvégzéséhez nyújtott anyagi támogatásért. Megköszönjük Mátyás Csabának a személyes konzultációk lehetőségét. A vállalt feladat teljesítését nagyban elősegítette a Rasztovits Ervin és Mórítz Norbert által szerkesztett klímaatlasz, Nagy László a klímaparaméterek meghatározásához és a statisztikai programok alkalmazásához nyújtott segítséget, mindezért köszönettel tartozunk.

Hivatkozott irodalom

- Balut, S. – Sabor, J. (2001/2002): Inventory Provenance Test of Norway Spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) IPTNS – IUFRO 1964/68 in Krynica. Part I – II. Akademia Rolnicza im. H. Kollataja w Krakowie.
- Dietrichson, J. (1979): Norway spruce provenance trials in Nordic Countries, in: Proceedings of the IUFRO joint meeting of WP on Norway spruce provenances and Norway spruce breeding. Bucharest.
- Fottland, H. – Skroppa, T. (1989): The IUFRO 1964/68 provenance experiment with Norway spruce (*Picea abies*) in Norway. Communications of the Norwegian Forest Research Institute 43. 1.
- Krutzsch, P. (1974): The IUFRO 1964/8 Provenance Test with Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) *Silvae Genetica* 23, 58 – 62.
- Krutzsch, P. (1992): IUFRO's Role in Coniferous Tree Improvement: Norway Spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) *Silvae Genetica* 41, 3 143 – 150.

- Mátyás Cs. (1987): Magassági növekedés adaptív változatosságának vizsgálata banksfenyő (*Pinus banksiana* Lamb.) populációkban. EFE Tudományos Közlemények. 1-2: 191-197.
- Mátyás Cs. (1994): Modelling climate change effects with provenance test data. Tree Physiology, 14: 797 - 804.
- Mátyás Cs. (1996a): Fontosabb hazai fafajok génökológiai elemzése. 990. sz. OTKA témapályázat zárójelentése.
- Mátyás Cs. (1996b): Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Mátyás Cs. (2002): Erdészeti-természetvédelmi genetika. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Nebe, W. (1968): Über Beziehungen zwischen Klima und Wachstum der Fichte (*Picea abies*) in ihrem europäischen Verbreitungsgebiet. Archiv für Forstwesen, 17: 12. 1219 – 1238.
- Persson, A. – Persson B. (1992): Survival, growth and quality of Norway spruce (*Picea abies* /L./ Karst.) provenances at the three Swedish sites of the IUFRO 1964/68 provenance experiment. Swedish University of Agricultural Sciences, Dep. Of Forest Yield Research, Garpenberg. 67 p.
- Schmidt-Vogt, H. (1977): Die Fichte . Band1. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, pp647.
- Sperisen C. – Büchler U. - Mátyás G. (1998): Genetic variation of mitochondrial DANN reveals subdivision of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). In Karp. A, Isaac PG. Ingram DS (eds.). *Molecular Tools for Screening Biodiversity*. Chapman and Hall, London, pp. 413 – 417.
- Szőnyi L. - Ujvári F. (1970): International /IUFRO/ Norway spruce provenance trial. Erdészeti Kutatások, 66. 47 - 59.
- Szőnyi L. - Ujvári F. (1975): First results of the international /IUFRO/ Norway spruce provenance experiment. Erdészeti Kutatások. 71. 2: 139 - 147.
- Ujváriné Jármay, É. (2001): Az adaptáció szempontjából fontos tulajdonságok változatosságának értékelése, összefüggések feltárása lucfenyő származások, anyanövények és származáshibridek felhasználásával. T 25 752 sz. OTKA témapályázat zárójelentése.
- Ujvári É. - Ujvári F. (1979): Results of a 10 year old IUFRO international provenance trial Norway spruce /IPTNS 1964/68/ and their introduction in breeding and in practice. Proceedings IUFRO Meeting Norway spruce provenances and Norway spruce breeding. Bukarest, 1979. 475 - 480.
- Ujváriné J. É. – Ujvári F. (1980): Hazai lucfenyő állományaink genetikai értéke. Az Erdő, 29. 12: 539 - 541.
- Ujváriné Jármay É. - Ujvári F. (1992/93): Lucfenyő populációk génökológiai elemzése. EFE Tudományos Közlemények. 38-39: 59 - 75.